Aus der physiologisch-chemischen Anstalt der Universität Basel
(Vorsteher: weiland Prof. Dr. *Spiro*)

# Die Einwirkung von Speichel und Dentaladsorptat auf Glukose und Fruktose und die dabei eintretende Kalklösung

Ein Beitrag zum Kariesproblem

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Universität Basel

vorgelegt von

Walter Züllig, Zahnarzt

von St. Gallen

BASEL 1932

Druck von Benno Schwabe & Co., Basel

Aus der physiologisch-chemischen Anstalt der Universität Basel
(Vorsteher: weiland Prof. Dr. *Spiro*)

# Die Einwirkung von Speichel und Dentaladsorptat auf Glukose und Fruktose und die dabei eintretende Kalklösung

Ein Beitrag zum Kariesproblem

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Universität Basel

vorgelegt von

Walter Züllig, Zahnarzt

von St. Gallen

BASEL 1932

Druck von Benno Schwabe & Co., Basel

Von der medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von Prof. *K. Spiro*
Tag der Promotion: 9. Juli 1931

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus der Schweizerischen Medizinischen Wochenschrift, 62. Jahrgang 1932, Nr. 9, Seite 208.

2226

## *I. Stellung des Zahnsystems im Organismus.*

Während der Körper mit der Außenwelt allgemein durch das Epithel, einem Gewebe von ausgesprochener Spezifität und großer Regenerationsmöglichkeit zusammenhängt, wird nur im Bereich der Zähne dieses System der zellulären Begrenzung durchbrochen. Infolge der hohen mechanischen Funktion ist an dieser Stelle protoplasmatischer Aufbau unmöglich. Die Struktur der Zähne entspricht in ihren überwiegenden, anorganischen Teilen etwa einem Apatit mit der Formel $(PO_4)_6Ca_{10}F_2$ (*Hoppe-Seyler*) = $[Ca\{Ca_3(PO_4)_2\}_3]F_2$. Die Einfügung des Zahnes in den Stoffwechsel des Organismus ist in zentripetaler Richtung gegeben durch den Gefäß-Nervenkomplex der Pulpa und in zentrifugaler Richtung durch das umgebende Milieu, den Speichel mit seinem Ferment- und Salzgehalt. Existenz, Richtung und Umfang dieser Beziehungen und Austauschvorgänge gaben Anlaß zur Streitfrage, ob die Hartgebilde des Zahnes und des Schmelzes im Speziellen als lebende Substanz zu klassifizieren sind. Während *Türkheim* das Leben des Schmelzes sehr kritisch betrachtet, setzen sich andere Forscher (*Appelbaum, Howe, Vecchis, Lukomsky, Vainicher, Williams*) dafür ein. Die Begründung suchen sie in der Tatsache, daß körperfremde Stoffe, Blei, Quecksilber, Farbstoffe, in die Zähne und speziell den Schmelz gelangen. — Auf Grund der Eigenart der Zahnsubstanz zeigt sich die an ihr zu beobachtende Zerstörung, die Karies, als von allen anderen pathologischen Vorgängen abweichend. Der Prozeß ist mit Ausnahme seines allerersten Anfangsstadiums irreversibel. Nur für die Anfänge der Schmelzentkalkung wird eine Remineralisation aus dem Speichel angenommen (*Andresen, Head, Wilson, Pickerill*). Von anderen Forschern jedoch, welche eine solche Remineralisation im Tierversuch nachzuprüfen suchten, wird sie auf Grund ihrer

Experimente abgelehnt (*Weber*). Auf jeden Fall ist wie in allen Geweben ein Regulationsmechanismus neuro-hormonaler Natur anzunehmen. Die Karies läßt sich auffassen, als ein Ueberwiegen abbauender und destruierender Vorgänge unter pathologischen Bedingungen. Diese Bedingungen sind es, welche das Hauptinteresse der Kariesforschung beanspruchen. Im folgenden sei eine kurze systematische Uebersicht über die Ursachen der Karies gegeben.

*II. Aetiologie der Karies.*

1. Lokale im Zahn bedingte Faktoren.

a) Schlechte Verkalkung der Zahnsubstanz in quantitativer Hinsicht (*Miller*). b) Schlechte Verkalkung in qualitativer Hinsicht, d. h. Dysharmonie der Ablagerung (Degeneration infolge Alkoholismus (*Baumgartner*). c) Mangelhafte oder fehlende Verhornung des Schmelzoberhäutchens und der Schmelzlamellen (*Fleischmann-Gottlieb*).

Diese Faktoren wirken in Kombination mit:

2. Milieubedingten, d. h. in der Mundhöhle liegenden Faktoren.

a) Parasiten: Bakterien und Pilze. Diese werden verantwortlich gemacht in der rein parasitären Theorie (*Baumgartner, Fleischmann*). b) Parasiten + Kohlehydrate, resp. deren Abbauprodukte. Als Abbauprodukte kommen in Betracht die durch Bacillus acidophylus erzeugten Säuren, hauptsächlich Milchsäure. Während die Säure nach rein chemischem Prinzip den Kalk auflöst, wird der weitere Zerstörungsprozeß hauptsächlich durch eindringende Pilze übernommen (*Miller*). c) Speichel. Die Wasserstoffionenkonzentration des Speichels ist für die Karies von Bedeutung. Je alkalischer der Speichel ist, desto weniger Karies findet man (*Röse*). Die Viskosität des Speichels soll ebenfalls von Bedeutung für das Eintreten des Zerstörungsprozesses sein. Je visköser, d. h. je muzinreicher der Speichel ist, desto mehr Karies findet man (*Pickerill, Brunaci, Eisenberg*).

3. Konstitutionelle Faktoren.

a) Angeborene Faktoren. Die Ernährung, speziell der Kalkhaushalt der Mutter, ist von großer Bedeutung für die Kariesdisposition resp. Kariesresistenz des Kindes (*Murray L. Dyment*). Von großer Bedeutung sollen weiterhin die Hormone sein. Es wurden Beziehungen gefunden zwischen der Parathyreoidea und der Verkalkung der Zähne, was nicht sehr erstaunlich ist, da die Bedeutung dieses Organes für den Kalkstoffwechsel bekannt ist (*Burns*). b) Erworbene Faktoren. Hier spielt die Ernährung durch Muttermilch eine Rolle. Gesäugte Kinder zeigen gegenüber künstlich ernährten eine größere Kariesresistenz (*Kingston, Barton*).

4. Exogene Faktoren, die nicht direkt vom Individuum abhängig sind.

Diese Faktoren sind gegeben in der Ernährung einerseits und im Aufenthaltsort des Individuums andererseits.

a) Ernährung. Von Bedeutung ist die Form der Nahrung, resp. das Ausmaß, in dem sie die Zähne beansprucht. Durch eine die Kautätigkeit stark beanspruchende Nahrung wird eine automatische Selbstreinigung des Gebisses erzielt. Diese Selbstreinigung schützt vor Zerstörung einerseits und hat zugleich eine stärkere Entwicklung der Zähne beim jugendlichen Individuum zur Folge. *Sim Wallace* stellte in dieser Hinsicht den Begriff der „detergent food" auf.

Von großer Bedeutung ist die chemische Beschaffenheit der Nahrung. In Ländern mit hohem Lebensstandard zeigt die Ernährung der Bevölkerung die Tendenz nach möglichst konzentrierten Nahrungsmitteln. So werden z. B. Kohlehydrate hauptsächlich in Form von Zucker aufgenommen. Länder mit ausgesprochen hohem Zuckerkonsum sind z. B. Nordamerika und die Schweiz. Parallel dazu gehen die beinahe gleich großen Zahlen der Kariesstatistik. Einen Einblick in die Beziehungen zwischen Karies und Zucker geben die typischen Formen der Karies bei Bäckern und Arbeitern in Chokoladefabriken.

Eine sehr wichtige Rolle wird ferner den Vitaminen zugesprochen. Es kommt hier hauptsächlich das Vitamin D in Betracht, dessen Bedeutung für den Kalkhaushalt bekannt ist. Die Beziehung zwischen Kohlehydraten und Vitamin D soll darin bestehen, daß die Stärke einen Vitamin D hemmenden Faktor enthält (*Mellanby*).

Im Zusammenhang mit der Bedeutung von Vitamin D steht das Kalzium-Phosphorgleichgewicht. Hier ist die Beobachtung von *Theyler* zu erwähnen, der bei den Rindern in Südafrika Osteoporose konstatierte, wenn der Phosphorgehalt des Futters abnahm. *Lennox* untersuchte daraufhin den Phosphorgehalt der Nahrung kariesimmuner Rassen und fand, daß die von den ersteren aufgenommenen Phosphorwerte 5 mal größer sind, als die in der Nahrung des Europäers vorhandenen.

*Price* erzielte therapeutische Erfolge bei Kindern mit schlecht verkalkten Zähnen mittels aktiviertem Lebertran unter Beigabe eines Kalziumpräparates.

b) Aufenthaltsort. Die laut Kariesstatistik sich ergebenden Zusammenhänge zwischen Wohnort und Zahnverhältnissen sind so bekannt, daß die Erwähnung an sich genügt. — Wenn man die Mannigfaltigkeit der Kariesursachen überblickt, so muß man sagen, daß es außer der Aetiologie der Tumoren kein Gebiet in

der menschlichen Pathologie gibt, das in seinen innersten Ursachen so verwickelt und unabgeklärt ist.

Jeder einzelne dieser eben erwähnten Faktoren ist von den betreffenden Forschern meist allein für die Karies verantwortlich gemacht worden unter Herbeiziehung von Vergleichsmaterial und therapeutischen Erfolgen.

Von ganz besonderem Interesse wird aber stets der Ausgangspunkt der Zerstörung am Zahn selbst sein. Diese Zerstörung nimmt ihren Anfang nie an glatten Flächen und Höckern, sondern immer an den Retentionsstellen als da sind: Approximalraum, Fissuren, Hypoplasien. In Kombination dieser Verhältnisse mit dem unheilvollen Einfluß der Kohlehydrate, speziell der Zucker, formulierte *Miller* seine chemisch-parasitäre Theorie. Die Karies wird eingeleitet durch eine nach chemischen Prinzipien vor sich gehende Kalkauflösung durch aus Kohlehydraten entstandene Säuren. Der Beweis für diese Theorie wird geliefert durch Nachweis der Milchsäurebakterien einerseits und der entstandenen Säure andererseits. Experimentelle Entkalkung von Zähnen durch Milchsäure d. h. also auf rein chemischem Wege, steht fest (*Ehrensberger*). Die Entstehung von starken Säurewerten aus Speichel + Kohlehydraten ist ebenfalls bekannt (*Wild*), doch sind diese Verhältnisse nicht ohne weiteres mit denen der Mundhöhle zu vergleichen, da wir es im Mund doch mit einem gepufferten System zu tun haben. Wenn auch die Pufferung des Speichels nur eine schwache ist (*Duß*), so ist doch nicht zu vergessen, daß eine außerordentlich häufige Erneuerung des Puffersystems durch den fortwährend neu sezernierten Speichel stattfindet.

Für die vorliegende Arbeit wurde die Aufgabe gestellt, die erste Phase der Miller'schen Kariestheorie, d. h. also den als rein chemisch angenommenen Vorgang, im Modellversuch zu wiederholen. Es handelt sich bei den Versuchen um ein System, das Speichel resp. Dentaladsorptat, Zucker und unlösliches Kalksalz enthält. Es wird nach dem quantitativen Abbau der Zucker einerseits und nach der Menge des in Lösung gegangenen Kalziums andererseits gesucht. Daraus sollten sich auch die Zusammenhänge zwischen Zuckerabbau und Kalklösung ergeben. In Bezug auf den Zucker wurden Glukose und Fruktose in getrennten Versuchen verwendet. Die Berechtigung dazu ergab sich aus dem sehr verschiedenen Verhalten von Glukose und Fruktose im Organismus. Es ist hier beispielsweise die elektive Rolle der Fruktose in ihrer Reaktion mit den Gallensäuren einerseits und in ihrer Bedeutung als Zwischenprodukt beim Abbau des Glykogens zu Milchsäure im tätigen Muskel zu erwähnen. Weiterhin unterscheiden sich 2 für die menschliche Ernährung sehr wichtige Kohle-

hydrate, die Stärke und die Saccharose, dadurch daß erstere aus x Molekülen Glukose, letztere hingegen aus je 1 Molekül Glukose und Fruktose zusammengesetzt ist. Sollte sich im Verhalten von Glukose und Fruktose ein wesentlicher Unterschied ergeben, so liegt es nahe, einen solchen auch für Stärke und Rohrzucker anzunehmen. Ein solches Ergebnis dürfte umso interessanter sein, als empirisch die Verderblichkeit eines starken Zuckergenusses für die Zähne bekannt ist. Vom Kalziumkarbonat ist bekannt, daß beim Schütteln mit Speichel im Gegensatz zu Kalziumphosphat kein Kalzium ausfällt und somit mit großer Wahrscheinlichkeit das Salzmilieu sich nicht verändert (*Klinke*). Der Speichel wurde nach dem Prinzip des Ruhespeichels, d. h. 2—3 Stunden nach Nahrungsaufnahme ohne vorhergehende Mundspülung gesammelt. In einer zweiten Versuchsreihe wurden statt Speichel Bakterienplaques und Flüssigkeit von der Oberfläche des Zahnes durch Abstreichen und Abwischen gewonnen und die erhaltene Substanz in physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt, filtriert und das Filtrat wie Speichel verwendet. Bei der Untersuchung des Kalziumgehaltes dieser dem Zahn anhaftenden Schicht wurde die Aufmerksamkeit auf die sehr hohen Kalziumwerte gelenkt. Das führte zur Annahme einer Kalziumadsorption an die Zahnoberfläche und zur Bezeichnung dieser Schicht als *Dentaladsorptat.*

## *Experimenteller Teil.*

### *I. Methoden.*

a) Zuckerbestimmung nach *Willstaetter* und *Schudel.* Die Methode ist eine Hypojoditmethode. Sie bestimmt nur Glukose und greift Fruktose nicht an. Die Vorversuche ergaben eine starke Abhängigkeit der Resultate von der Alkalikonzentration. Der Bestimmungsbereich dehnt sich aus über 1—100 mg.

b) Nach *Issekutz* und *Both.* Die Methode ist eine Modifikation derjenigen nach *Hagedorn-Jensen.* Der Bestimmungsbereich liegt zwischen 1—15 mg. Die Bestimmungstabelle ist für Glukose ausgearbeitet; nach den Kontrollversuchen ist sie auch für Fruktose gültig.

c) Kalziumbestimmung, nach *Kramer-Tisdall.*

### *II. Untersuchungsmaterial.*

Um überhaupt eine Wirkung feststellen zu können, kam in den ersten Versuchen gemischter Speichel mehrerer Personen zur Verwendung. Der Speichel wurde zentrifugiert. Die folgenden Versuche wurden dann mit individuellem, nach dem Prinzip des Ruhespeichels gesammeltem Speichel gemacht.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde mit Bakterienplaques und Schleim von der Oberfläche der Zähne gearbeitet. Das Material wurde mit einem sichelförmigen Instrument (Zahnsteininstrument) gesammelt, mit 20 ccm physiologischer Kochsalzlösung geschüttelt und filtriert. Das Filtrat wurde wie Speichel in den Versuchen verarbeitet.

### *III. Versuchsanordnung.*

Es wird 1 ccm Speichel mit 1 ccm einer ca. 1%igen, mit der betreffenden Methode genau bestimmten Glukose-, resp. Fruktoselösung zusammengebracht. Einem Teil der Versuche wurde $CaCO_3$ zugesetzt. Die Versuche wurden 24 Stunden in den Brutschrank gestellt und sodann die noch vorhandene Zuckermenge und zugleich das in Lösung gegangene Kalzium bestimmt.

*Schema eines Versuches.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 1 ccm Glukoselösung | + 1 ccm | Speichel | | |
| 2. | 1 ccm Fruktoselösung | + 1 ccm | „ | | |
| 3. | — | + 1 ccm | „ | | |
| 4. | 1 ccm Glukoselösung | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | |
| 5. | 1 ccm Fruktoselösung | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | |
| 6. | — | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | |
| 7. | 1 ccm Glukoselösung | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | zur Ca- |
| 8. | 1 ccm Fruktoselösung | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | Be- |
| 9. | — | + 1 ccm | „ | + $CaCO_3$ | stimmung |

### *IV. Vorversuche.*

Die Abhängigkeit des Glukose- und Fruktose-Abbaus durch den Speichel von der Konzentration der vorhandenen Zuckerlösung soll gefunden werden. Die Ausgangskonzentration ist eine ca. 1%ige Glukose- oder Fruktoselösung; die Verdünnung der Zuckerlösung erfolgte im Verhältnis 5:3:2, resp. 4:3:2. Die Glukose wurde bestimmt nach *Willstaetter* und *Schudel*, die Fruktose nach *Hagedorn-Jensen*. Der untersuchte Speichel war gemischter Speichel mehrerer Personen mit sanierten Mundhöhlen. Alter ca. 22 Jahre.

| | mg | | mg | | mg |
|---|---|---|---|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 9,0 | | 4,8 | | 3,6 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 8,1 | | 4,3 | | 3,3 |
| Verbrauchte Glukosemenge | 0,9 | | 0,5 | | 0,3 |
| Verhältnis der Konz. | 10 | : | 6 | : | 4 |
| Verhältnis des Verbrauchs | 10 | : | 5,5 | : | 3,3 |

| | mg | | mg | | mg |
|---|---|---|---|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 9,0 | | 4,8 | | 3,6 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 7,6 | | 3,8 | | 2,7 |
| Verbrauchte Glukosemenge | 1,4 | | 1,0 | | 0,9 |
| Verhältnis der Konz. | 10 | : | 6 | : | 4 |
| Verhältnis des Verbrauchs | 10 | : | 7,1 | : | 6,4 |

| | mg | | mg | | mg |
|---|---|---|---|---|---|
| Fruktoseausgangsmenge | 7,3 | | 5,5 | | 3,6 |
| Fruktose nach 24 Std. Brutschr. | 4,6 | | 2,9 | | 1,6 |
| Verbrauchte Fruktosemenge | 2,7 | | 2,6 | | 2,0 |
| Verhältnis der Konz. | 4 | : | 3 | : | 2 |
| Verhältnis des Verbrauchs | 4 | : | 3,7 | : | 3,2 |

Bestimmung der Zucker nach *Issekutz* und *Both*.

| | mg | mg | mg |
|---|---|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 10,3 | 2,06 | 1,03 |
| Glukose nach 20 Std. Brutschr. | 8,28 | 0,25 | 0,00 |
| Glukoseverbrauch | 2,02 | 1,81 | 1,03 |
| Verhältnis der Konz. | 10 : | 2 : | 1 |
| Verhältnis des Verbrauchs | 10 : | 9 : | 5 |

| | mg | mg | mg |
|---|---|---|---|
| Fruktoseausgangsmenge | 9,72 | 1,94 | 0,97 |
| Fruktose nach 20 Std. Brutschr. | 7,97 | 0,66 | 0,10 |
| Fruktoseverbrauch | 1,75 | 1,28 | 0,87 |
| Verhältnis des Konz. | 10 : | 2 : | 1 |
| Verhältnis des Verbrauchs | 10 : | 7,7 : | 5,4 |

*Folgerung.*

In 4 von 5 Versuchsreihen zeigt sich eine Steigerung des relativen Zuckerabbaus mit sinkender Konzentration. Dieses Verhalten deutet darauf hin, daß die im Speichel vorhandenen, zuckerabbauenden Faktoren nur ein bestimmtes Arbeitsquantum zu bewältigen vermögen.

*V. Hauptversuche A.*

*Gegenseitiges Verhalten des Abbaus von Glukose und Fruktose durch Speichel, mit und ohne $CaCO_3$. — Die Kalklösung im Verhältnis zur abgebauten Glukose- und Fruktosemenge.* (Glukose und Fruktose bestimmt nach *Issekutz* und *Both*.)

1. Gemischter Speichel mehrerer Personen im Alter von 22 bis 27 Jahren mit sanierten Mundhöhlen. Speichel zentrifugiert.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,30 | 10,30 |
| Glukosemenge nach 21 Std. Brutschr. | 9,04 | 9,45 |
| Glukoseverbrauch | 1,26 | 0,85 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 9,72 | 9,72 |
| Fruktosemenge nach 21 Std. Brutschr. | 9,39 | 8,46 |
| Fruktoseverbrauch | 1,33 | 1,26 |

| Ca | + $CaCO_3$ |
|---|---|
| | mg |
| Kalziummenge in Glukose | 0,09 |
| Kalziummenge in der Fruktose | 0,10 |
| Kalziummenge im Speichel | 0,074 |

2. Speichel W. Z. 24-jährig. ♂, 1 kariöser Zahn. Der Speichel wurde auf das Doppelte verdünnt, geschüttelt, zur Sedimentation gebracht und die klare Flüssigkeit verwendet. Sammlung ca. 2 Stunden nach Nahrungsaufnahme. Die individuellen Speichel wurden alle so verarbeitet.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,63 | 10,63 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 9,75 | 7,86 |
| Glukoseverbrauch | 1,06 | 2,77 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 10,37 | 10,37 |
| Fruktosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 9,72 | 7,12 |
| Fruktoseverbrauch | 0,65 | 3,25 |

| Ca | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Kalziumgehalt der Glukoselösung | | 0,44 |
| Kalziumgehalt der Fruktoselösung | | 0,72 |

(Der Wert für Speichel wurde in der Berechnung abgezogen.)

3. Speichel H. B., 24-jährig ♂, Mundhöhle saniert.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,63 | 10,63 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 9,92 | 4,03 |
| Glukoseverbrauch | 0,71 | 6,60 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 10,37 | 10,37 |
| Fruktosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 9,06 | 7,10 |
| Fruktoseverbrauch | 1,31 | 3,27 |

| Ca | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Kalziumgehalt der Glukoselösung | | 1,02 |
| Kalziumgehalt der Fruktoselösung | | 0,70 |

4. Speichel J. M., 22-jährig, ♂. Mundhöhle saniert.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,63 | 10,63 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 9,09 | 6,15 |
| Glukoseverbrauch | 1,54 | 4,48 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 10,37 | 10,37 |
| Fruktose nach 24 Std. Brutschr. | 7,89 | 7,89 |
| Fruktoseverbrauch | 2,48 | 2,48 |

| Ca | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Kalziumgehalt der Glukoselösung | | 0,33 |
| Kalziumgehalt der Fruktoselösung | | 0,22 |

5. Speichel M. K., 27-jährig ♂. Mundhöhle saniert. Kariesdisposition.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,63 | 10,63 |
| Glukosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 8,72 | 8,14 |
| Glukoseverbrauch | 1,91 | 2,49 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 10,37 | 10,37 |
| Fruktosemenge nach 24 Std. Brutschr. | 8,30 | 8,27 |
| Fruktoseverbrauch | 2,07 | 2,10 |

| Kalzium | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Kalziumgehalt der Glukoselösung | | 0,29 |
| Kalziumgehalt der Fruktoselösung | | 0,39 |

6. Speichel Fr. L., 28-jährig. Mundhöhle saniert. 45 Stunden Brutschrank.

| Glukose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Glukoseausgangsmenge | 10,63 | 10,63 |
| Glukosemenge nach 45 Std. Brutschr. | 7,47 | 2,11 |
| Glukoseverbrauch | 3,16 | 8,52 |

| Fruktose | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Fruktoseausgangsmenge | 10,37 | 10,37 |
| Fruktosemenge nach 45 Std. Brutschr. | 7,97 | 3,12 |
| Fruktoseverbrauch | 2,40 | 7,25 |

| Ca | | + $CaCO_3$ |
|---|---|---|
| | mg | mg |
| Kalziumgehalt der Glukoselösung | | 1,56 |
| Kalziumgehalt der Fruktoselösung | | 1,45 |

*Folgerungen aus den Hauptversuchen A.*

Wenn man die in den einzelnen Versuchen abgebauten Mengen von Glukose und Fruktose miteinander vergleicht, so ergibt sich keine Gesetzmäßigkeit in diesem Abbau. Es ist anzunehmen, daß dieser Abbau individuellen Verschiedenheiten unterliegt im gleichen Sinne wie die Kariesdisposition weitgehend individuell bedingt ist.

Vergleicht man die Versuchsreihen, welche Kalziumkarbonat enthielten, mit denen, welchen keines zugesetzt wurde, so ergibt sich in 5 von 6 Fällen eine Steigerung des Abbaus bei Anwesenheit von Kalziumkarbonat. Eine fortwährende Neutralisation der als Säuren anzunehmenden Abbauprodukte scheint also den Zuckerabbau zu steigern.

Vergleicht man die Differenz der vor und nach dem Versuch vorhandenen Zuckermengen mit dem in Lösung gegangenen

Kalziumkarbonat unter Beziehung auf die von der Miller'schen Theorie geforderte chemische Gleichung, so ergeben sich für die Fruktose durchwegs die relativ höheren Kalziumwerte.

Die Miller'sche Theorie für die Schmelzkaries, die wir ja hier untersuchen wollten, läßt sich in folgender chemischer Gleichung darstellen:

$$1 \text{ Mol. Glukose oder Fruktose} + CaCO_3 = \left.\begin{matrix} 1 \text{ Mol. Milchsäure} \\ 1 \text{ Mol. Milchsäure} \end{matrix}\right\} Ca$$

Rechnen wir unter Berücksichtigung der Molekulargewichte die erhaltenen Kalziumwerte auf Milchsäure um, und drücken wir die so erhaltenen Säurewerte in Prozenten des Gesamtzuckerabbaus aus, so ergeben sich die relativ höheren Säurewerte der Fruktose aus folgender Tabelle:

Milchsäure in Prozenten des Gesamtzuckerabbaus.

| Versuchsnummer | Glukose | Fruktose | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 1 | 8,3% | 9,5% | Speichel zentrifugiert |
| 2 | 71 % | 100 % | |
| 3 | 68 % | 97 % | |
| 4 | 34 % | 40 % | |
| 5 | 52 % | 85 % | |
| 6 | 82 % | 90 % | 45 Std. Brutschr. |

Es ist wahrscheinlich, daß die empirisch konstatierte größere Gefährlichkeit der Saccharose gegenüber der Stärke für das Zahnsystem darin begründet ist, daß die Stärke aus x Molekülen Glukose, die weniger Säure bilden, und der Rohrzucker aus je 1 Molekül Glukose und Fruktose besteht, von denen das letztere beim Abbau in der Mundhöhle starke Säurewerte bildet. Es ist wohl gestattet, mit diesem Ergebnis die von *Wierzuchowski* und *Laniewski* gefundene größere Milchsäurekonzentration im Blute und die größere Milchsäureausscheidung im Harne nach intravenöser Infusion von Fruktose gegenüber Glukose zu vergleichen. In diesen Zusammenhang scheinen auch die Ergebnisse von *Meyer-Bisch* zu gehören, der fand, daß nach Eingabe von Lävulose der Kalziumgehalt des Serums um 1—2 mg steigt.

### *VI. Hauptversuche B.*

*Gegenseitiges Verhalten des Abbaus von Glukose und Fruktose durch Dentaladsorptat mit Zugabe von $CaCO_3$. Die Kalklösung im Verhältnis zur abgebauten Glukose- und Fruktosemenge.* (Glukose- und Fruktosemenge bestimmt nach *Issekutz* und *Both.*)

Als Dentaladsorptat haben wir in der Einleitung die dem Zahn aufliegende Schicht bezeichnet. Wir nehmen an, daß es sich bei dieser Schicht auf Grund des an ihr konstatierten sehr hohen Kal-

ziumgehaltes um eine Adsorption an die Zahnoberfläche handelt. Die in ihr sich befindenden Bakterien (Bakterienplaques) und die in ihr, besonders an den Retentionsstellen (Fissuren, Approximalräume etc.) festgehaltenen Speisereste, betrachten wir als Verunreinigung. Die Verwendung dieser Schicht für die Versuche ging von der Ueberlegung aus, die kariesbedingenden Faktoren da zu suchen, wo der Zerstörungsprozeß seinen Ausgang nimmt. Die durch Abwischen und Abstreifen gesammelte Masse wurde in 20 ccm physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt und das Filtrat in der gleichen Versuchsanordnung wie Speichel verwendet.

1. Interdentalflüssigkeit H. B., 24-jährig ♂. Mundhöhle saniert.

| | Glukose mg |
|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 10,30 |
| Glukosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,05 |
| Glukoseverbrauch | 1,25 |
| | **Fruktose mg** |
| Fruktosemenge vor dem Versuch | 9,73 |
| Fruktosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,55 |
| Fruktoseverbrauch | 0,18 |
| | **Ca mg** |
| Glukoselösung enthält Ca | 0,12 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,095 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,11 |

2. Interdentalflüssigkeit O. M., 1 kariöser Zahn.

| | Glukose mg |
|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 10,30 |
| Glukosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 8,01 |
| Glukoseverbrauch | 2,29 |
| | **Fruktose mg** |
| Fruktoseausgangsmenge | 9,73 |
| Fruktosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,65 |
| Fruktoseverbrauch | 0,08 |
| | **Ca mg** |
| Glukoselösung enthält Ca | 0,165 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,265 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,115 |

3. D., 19-jährig, ♀, Zahnverhältnisse sehr schlecht, ausgesprochen pathologisch.

| | Glukose mg |
|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 9,79 |
| Glukosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,69 |
| Glukoseverbrauch | 0,10 |
| | **Fruktose mg** |
| Fruktoseausgangsmenge | 9,89 |
| Fruktosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,89 |
| Fruktoseverbrauch | 0,00 |

*Kein Zuckerverbrauch!*

| | Ca mg |
|---|---|
| Glukoselösung enthält Ca | 0,144 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,409 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,10 |

4. Interdentalflüssigkeit W. F., 22-jährig, ♂. Zahnverhältnisse gut, Kariesdisposition.

| | Glukose mg |
|---|---|
| Glukoseausgangsmenge | 9,89 |
| Glukosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,48 |
| Glukoseverbrauch | 0,41 |

| | Fruktose mg |
|---|---|
| Fruktoseausgangsmenge | 9,89 |
| Fruktosemenge nach 20 Std. Brutschr. | 9,12 |
| Fruktoseverbrauch | 0,77 |

| | Ca mg |
|---|---|
| Glukoselösung enthält Ca | 0,095 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,173 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,036 |

5. Interdentalflüssigkeit E. Z. ♂ 27-jährig, Mundhöhle saniert. Glukose und Fruktose kein Abbau.

| | Ca mg |
|---|---|
| Glukoselösung enthält Ca | 0,20 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,066 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,036 |

6. S. S., 20-jährig ♂, Karies. Kein Zuckerabbau bei der Glukose. Fruktoseverbrauch 0,85 mg.

| | Ca mg |
|---|---|
| Glukoselösung enthält Ca | 0,16 |
| Fruktoselösung enthält Ca | 0,20 |
| Dentaladsorptat enthält Ca | 0,08 |

*Folgerungen aus den Hauptversuchen B. mit Dentaladsorptat.*

Eine Gesetzmäßigkeit läßt sich nicht aufstellen über den Abbau der Glukose und Fruktose. Der Abbau scheint individuell verschieden zu sein.

Auffallend ist der fehlende Zuckerabbau und die trotzdem eingetretene Kalklösung in den Versuchen 2, 3, 5, 6. Es besteht hier die Möglichkeit der Bildung von Kalzium-Zuckerkomplexen. Wie erwähnt, fand *Meyer-Bisch*, daß Lävulose den Serumkalk um 1—2 mg erhöht und er erklärte dies durch Bildung von kalziumhaltigen Zuckerkomplexen. Eine solche Komplexbildung wäre auch hier möglich.

*Zusammenstellung der im Dentaladsorptat gefundenen Ca-Werte.*

Unter Berücksichtigung der Ausgangswerte von 0,2—0,5 g und unter Berücksichtigung der Verdünnung ergaben sich für die dem Zahn aufliegende Schicht folgende Ca-Werte:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | 440 | mg | % |
| 2. | 320 | „ | „ |
| 3. | 400 | „ | „ |
| 4. | 144 | „ | „ |
| 5. | 144 | „ | „ |
| 6. | 320 | „ | „ |
| 7. | 180 | „ | „ |
| 8. | 180 | „ | „ |
| 9. | 185 | „ | „ |
| 10. | 185 | „ | „ |

2500:10 = 250 mg % Mittelwert

*Folgerung.*

Es scheint sich bei der dem Zahn aufliegenden Schicht um eine Adsorption von löslichen Ca-Salzen an der Zahnoberfläche zu handeln. Eine der Vorbedingungen der Adsorption, z. B. die elektrische Ladung, wurde von *Entin* in seinen elektroosmotischen Versuchen für die Zahnoberfläche nachgewiesen. Die Existenz einer Ca-Adsorption wirft ein neues Licht auf die Entstehung der Zahnsteinbildung einerseits und auf die Nachhärtung der eben durchgebrochenen Zähne (Mineralisation) und die Remineralisation entkalkten Schmelzes andererseits (*Pickerill, Head, Andresen*).

*Zusammenfassung.*

1. Beim Vergleich der durch Speichel und Dentaladsorptat an Glukose abgebauten Mengen mit den an Fruktose abgebauten läßt sich keine Gesetzmäßigkeit feststellen. Der Abbau scheint individuellen Verschiedenheiten zu unterliegen.

2. Vergleicht man die in den Versuchen mit Fruktose erhaltenen Kalkwerte mit den bei der Glukose erhaltenen, so ergeben sich für die Fruktose die *relativ* höheren Kalk- resp. Säurewerte. Dieses Ergebnis könnte vielleicht verantwortlich gemacht werden für die empirisch festgestellte größere Schädigung der Zähne durch den aus Fruktose und Glukose bestehenden Rohrzucker gegenüber der nur aus Glukose bestehenden Stärke.

3. Bei den Versuchen mit Dentaladsorptat zeigte sich bei der Glukose und bei der Fruktose eine Kalkauflösung ohne Zuckerabbau. Besonders auffallend ist das Ergebnis des ausgesprochen pathologischen Falles 3, D. 19 Jahre, bei dem im Fruktoseversuch eine sehr hohe Kalkauflösung ohne entsprechenden Zuckerabbau zu konstatieren war. Es ist hier an eine Bildung von Kalzium-

Zuckerkomplexen zu denken, wie sie *Meyer-Bisch* für die Erhöhung des Serumkalziums durch Lävulose annahm.

4. Die Kalkwerte der den Zahn umgebenden Schicht sind *sehr hoch*, sodaß die Annahme einer Adsorption von Kalzium an die Zahnoberfläche berechtigt erscheint. Diese vom übrigen Speichel also deutlich verschiedene Schicht wurde mit dem Namen *Dentaladsorptat* bezeichnet.

*Literatur.*

*Ehrensberger:* Künstlich erzeugte Caries incipiens des Schmelzes. Inaug.-Diss. Zürich 1930. — *Duß:* Die Wasserstoffionenkonzentration und Pufferung des Speichels. Inaug.-Diss. Basel 1928. — *Issekutz* und *Both:* Bioch. Zeitschr. Bd. 183, 298, 1927. — *Jeanneret:* Diät und Zahnkaries. Schweiz. Monatsschr. f. Zahnhlk. Bd. XXXVII. Nr. 10. — *Klinke:* Neue Ergebnisse der Kalziumforschung. Asher-Spiro, Ergeb. d. Physiol. Bd. 26. — *Miller:* Mikroorganismen der Mundhöhle, 1889. — *Türkheim:* Physiologische Chemie, Fortschr. d. Zahnheilk. Bd. 6, Nr. 7. — *Wierzuchowski* und *Laniewski:* Intermediärer Kohlehydratstoffwechsel. Biochem. Zeitschr. Bd. 230. — *Wild:* Beitrag zum Kariesproblem. Schweiz. Monatsschr. f. Zahnheilk. Bd. 38, Nr. 10. — *Willstaetter* und *Schudel:* Berichte der deutschen chem. Gesellschaft, Bd. 51, 780, 1918.